

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů - 347

Sekačky odpadových rolí WRS
Cutting Machines of Waste Rolls WRS

Student:

Bc. Střípek Tomáš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Zdeněk Foltá, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Strípek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Sekačky odpadových rolí WRS**
Cutting Machines of Waste Rolls WRS
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Proveďte optimalizaci rámu sekačky odpadových rolí s důrazem na snížení hmotnosti, při zachování tuhosti konstrukce. Požadovaná řezná síla je 600-800 kN, řezná rychlost 40 mm/s, maximální průměr odpadové role 1500 mm.

1. Proveďte rešerši používaných řešení.
2. Proveďte návrh variant řešení.
3. Zpracujte konstrukční návrh rámu.
4. Proveďte potřebné pevnostní, případně životnostní výpočty.
5. Proveďte srovnání s původním řešením.
6. Zhotovte výkresovou dokumentaci v rozsahu dle pokynů vedoucího práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

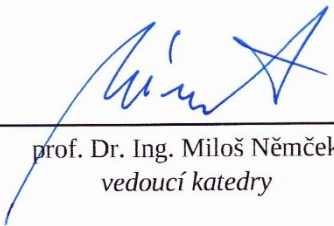
Boháček, F. Části a mechanismy strojů I a II. Brno: VUT Brno, 1987.
Bolek, A. a kol. Části strojů - svazek 1. a 2. Praha: SNTL, 1990.
Němec, J. a kol. Pružnost a pevnost ve strojírenství. Praha: SNTL, 1989.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Folta, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

..... Ybripek T.

podpis studenta

Prohlašuji že,

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16. 5. 2016


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Střípek Tomáš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hnojice 65

785 01 Šternberk

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STŘÍPEK, T. Sekačky odpadových rolí WRS: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2016, 55 s. Vedoucí práce: Folta Z.

Diplomová práce se zaměřuje na změnu konstrukce stávající sekačky papírových odpadových rolí WRS. Konkrétně bude úkolem umístit hydraulické válce do osy sloupů a bude použito jiné lineární vedení.

V úvodní části je popsána obecná charakteristika řešené problematiky. V hlavní části jsou popsány varianty 3D konstrukce s výhodami a nevýhodami. U konečné varianty je provedena MKP analýza vybraných součástí. Diplomová práce obsahuje celkové výhody a nevýhody konstrukce a konečné zhodnocení přínosu nové konstrukce.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

STŘÍPEK, T. Cutting Machines of Waste Rolls WRS: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2016, 55 p. Thesis head: Folta Z.

The diploma thesis focuses on the construction change of the existing cutting machine of waste rolls WRS. Particularly the task is to locate the hydraulic cylinder in to the axis of pillars, and different linear guider will be used.

The introduction of my thesis deals with the description of general characteristics of the problem. The theme of the main part describe variants of 3D models of constructions with each solution advantages and disadvantages. The final version is computed with FEM analysis of the particular component of a construction. The diploma thesis describes the advantages and disadvantages of the final version and the general analysis of benefits of this work.

Obsah

Úvodem	8
1 Popis firmy a milníky	9
1.1 Popis současného stavu konstrukce	11
1.1.1 Technický popis sekačky	13
1.1.2 Konstrukční popis sekačky	13
1.2 Popis problému	15
1.3 Cíle práce	16
1.4 Popis strojů jiných firem	17
2 Obecně ke konstrukci	20
2.1 Možnosti spojení dílů	20
2.2 Lineární kluzná a lineární valivá vedení	21
2.2.1 Valivé vedení	21
2.2.2 Kluzné vedení	22
3 Konstrukce nového rámu s vedením	23
3.1 Konstrukce s hydraulickým válcem mezi sloupy	25
3.2 Konstrukce s hydraulickým válcem nad sloupy	31
3.3 Pevnostní analýza vybraných součástí	41
3.3.1 Kontrola uchycení válce	42
3.3.2 Kontrola rámu sekačky	44
3.3.3 Kontrola Vedení nože	46
4 Vyhodnocení	48
5 Závěrem	49
Přílohy	55

Seznam použitých zkratek a symbolů

A	rozměr sekačky WRS	[mm]
b	šířka nožového nosníku	[mm]
B	rozměr sekačky WRS	[mm]
C	rozměr sekačky WRS	[mm]
$C_{0r\ W}$	statická únosnost ložiska	[N]
E	rozměr sekačky WRS	[mm]
F	rozměr sekačky WRS	[mm]
F_A	axiální zatížení	[N]
F_r	zatížení na jednu kladku	[N]
F_r^*	zatížení kladek na jednom Sloupu	[N]
F_r^{**}	celkové zatížení na kladky při řezné síle	[N]
$F_{S\ \frac{1}{2}}$	střížná síla hydr. válce na jeden čep uchycení	[N]
$F_{S\ 1}$	řezná síla hydr. válce	[kN]
F_S	řezná síla stroje	[kN]
g	tíhové zrychlení	[mm/s ²]
h	výška nožového nosníku	[mm]
H	hmotnost sekačky WRS	[kg]
l	délka ramene	[mm]
L	maximální délka role papíru	[mm]
m	hmotnost rámu sekačky	[kg]
M_o	ohybový moment	[Nm]
TN	nominální časový fond	[hod/rok]
v	řezná rychlost	[mm/s]
v_z	rychlost zpětného chodu	[mm/s]
W_o	kvadratický moment průřezu v ohybu	[mm ⁴]
α	vychýlení nože	[°]
Δm	rozdíl hmotnosti rámů	[kg]
$\sigma_{o\ C}$	mez únavy oceli v ohybu	[MPa]
ϕD	maximální průměr role papíru	[mm]

Úvodem

V dřívějších letech neměl papírenský průmysl mnoho příznivců, z důvodu zapáchajících řek, zapáchajícího ovzduší od kouřících komínů a vzniku mnoha rozlehlých skládek na tuhý odpad. Doba se ovšem změnila k lepšímu a papírenskému průmyslu se nyní daří velice dobře a zlepšil se i stav přírody. Je to díky přísnějším ekologickým normám ohledně výroby, stavu k ovzduší a recyklace odpadů. Také díky příznivější ceně papíru jako suroviny a jednoduché recyklovatelnosti je tedy o papír větší a větší zájem pro další zpracování.

Výroba papíru je jedním z nejstarších průmyslových oborů v České republice. V celosvětovém měřítku je papírenský průmysl druhým největším oborem. České papírenství je co do produkce na stejné úrovni jako papírenství světové. Rok od roku je u nás i ve světě neustálý nárůst papírenských potřeb a v budoucnu tomu nebude jinak, například i kvůli ekologii. Papírenský průmysl se věnuje kancelářským, hygienickým, kuchyňským výrobkům, výrobě obalů a krabic aj. Je to díky tomu, že papír jako surovina je velmi dobře zpracovatelná a její největší výhodou je její recyklovatelnost a možnost dalšího zpracování. Z toho důvodu se nemusejí kácet celé lesy a příroda je ušetřena neustálých zásahů člověka. Avšak dnešní papírenství patří k velmi náročným odvětvím, nejvíce v oblasti výroby, která je náročná na energie. Proto se musí Česká republika konkurenčně vyrovnat světu, který klade důraz na ekologii a životní prostředí. Papírenský průmysl se neustále vyvíjí, a proto se zvyšují i nároky na výrobní technologii a sortiment. [8]

Diplomová práce je zaměřena na změnu konstrukčního řešení stávající sekačky odpadových rolí WRS (podrobnější popis níže). Sekačka má za úkol sekat odpadové role papíru, které se následně rozeberou a dále se zpracují. Ve výjimečných případech se mohou sekat i igelitové a papírové obaly pro recyklaci.

Téma diplomové práce bylo zadáno firmou PAPCEL, a. s. (dále jen Zadavatel), sídlící v Litovli u Olomouce, zabývající se výrobou papírenských strojů.

1 Popis firmy a milníky

Společnost PAPCEL, a. s. se nachází na střední Moravě ve městě Litovel u Olomouce. Jejím sortimentem je výroba a dodání strojů a zařízení pro kompletní papírenské linky v oblasti papírenských strojů a přípravny látky. Zajišťuje kusové dodávky, dodávky kompletních technologií a mimo jiné i opravy a repase výrobních uzlů a technologií. Samozřejmostí jsou i kompletní servisní služby a náhradní díly. Na tom všem se podílí cca 260 zaměstnanců.

V největší míře (kolem 80%) putují papírenské stroje do zahraničí. Nejvíce do Evropy, postupně i do oblastí Asie, Afriky a Latinské Ameriky a nově i do Egypta, Íránu, Kolumbie a Ekvádoru. Z důvodu značného exportu do zahraničí zřídila zadavatelská firma několik poboček a filiálek, např. v Rusku, Bělorusku, Indii, Uzbekistánu nebo Kazachstánu.

Společnost PAPCEL, a. s. garantuje kvalitu své produkce vysokou pracovní odpovědností techniků a ostatních pracovníků.

Je nositelem certifikátů a oprávnění jako jsou:

ISO 9001:2008 Systém managementu jakosti,

ISO 14001:2004 Systém environmentálního managementu,

OHSAS 18001:2007 Systém managementu bezpečnosti a ochrany zdraví při práci,

BS EN ISO 9001:1994,

ČSN EN ISO 9001:1994.

Firemní filosofie je:

- snižování provozních nákladů na straně zákazníka
- nárůst výrobní produktivity a výkonové efektivity papírenských linek
- úspora energie
- důraz na bezpečnost práce
- strojní instalace šetrné k životnímu prostředí

Historické milníky firmy

1950 založení firmy

1955 název firmy – národní podnik PAPCEL-strojírny

od 1992 100% soukromá společnost

1998 PAPCEL, a. s.

2014 vlastní společnost VEGA-HSH, spol. s r. o. [9]

1.1 Popis současného stavu konstrukce

Téma diplomové práce je: Sekačky odpadových rolí WRS. Jedná se o řadu sekaček různých velikostí. Základní koncepce sekačky je ale pořád stejná, jen se mění velikosti některých dílů sestav na základě velikosti role, která se má sekat.

Sekačky WRS mají za úkol sekat odpadové role papíru, které se nepodaří vyrobit v dostatečné kvalitě a musí být znovu rozemlety a zpracovány. Mohou se k nim přiřadit nejrůznější prvky, které zrychlují proces manipulace s rolemi. K volitelným prvkům patří:

- pomocné pevné stoly nebo stavitelné stoly s výřezy pro manipulaci s vozíkem
- sklápěcí stůl v kombinaci s pomocnými stoly
- řetězový dopravník s ocelovými lamelami
- řetězový dopravník s ocelovými lamelami a sklápěcím stolem
- soustava dvou pásových dopravníků

Celý proces řezání začíná dopravením papírové role k sekačce. Jak je popsáno výše, k sekačce může být namontováno nejrůznější dopravní zařízení. Role papíru se může pod sekačku dopravit pomocí vysokozdvížného vozíku, jeřábu nebo po dopravnících. Sekačka, která se bude upravovat, je řada WRS, která se již nachází například ve firmě Šklov v Bělorusku.

Pomocí řetězového dopravníku se role papíru dopraví pod nůž sekačky. Přizdvihem na spodním nosníku dojde k přizvednutí role. Pokud by se tak neučinilo, došlo by k poškození dopravníků a dopravních členů na něm. Nyní začne proces sekání, kdy nůž dojede jen do poloviny průměru role, musí se vydělat dutinka, na které je role namotaná a role se dosekne celá. Vertikálním přeseknutím role vzniknou relativně dlouhé listy papíru, které se musí dále zpracovat. Následným posouváním dopravníku a opakováním procesu sekání je papír nasekaný na dostatečně malé kousky, které jsou po dopravníku přepraveny k dalšímu zpracování na rozvlákňovače a mlýny.

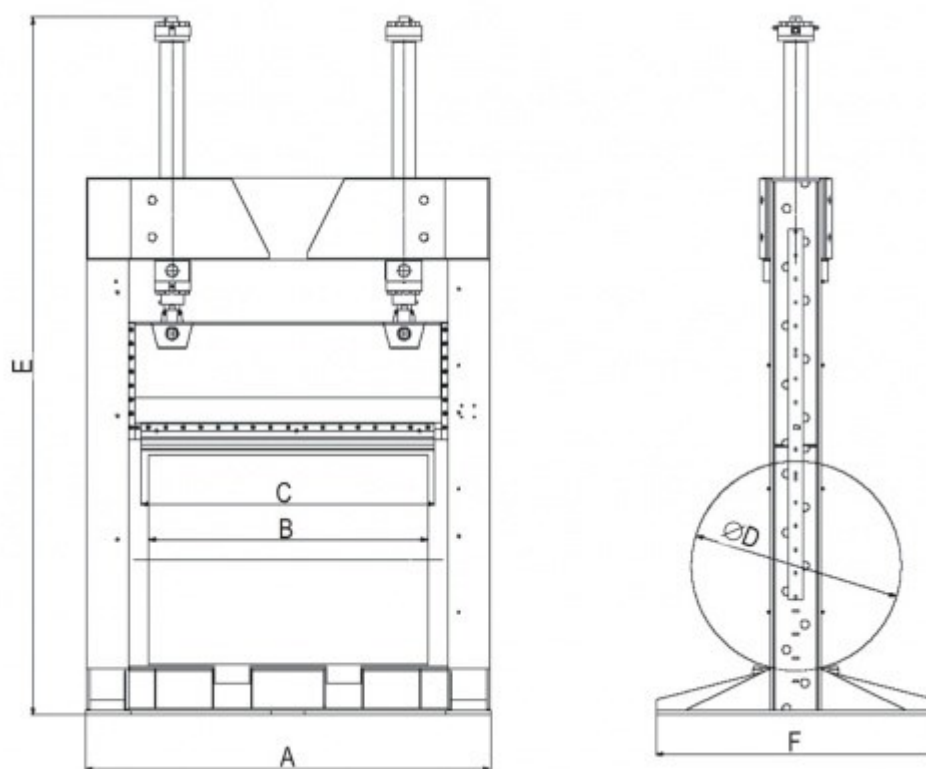
Nejvyšší řada sekaček WRS může sekat role do šířky 3000 mm a průměru 2000 mm. Na základě domluvy zákazníka s konstruktéry je možné objednat sekačku pro sekání jiných šířek a průměrů rolí. Podrobné velikosti a hodnoty jsou zřejmé z příložené tabulky.

Tabulka 1 Základní technické parametry stroje

řezná síla	F_s	kN	600 – 800
řezná rychlost	v	mm/s	40
rychlost zpětného chodu	v_z	mm/s	40
max. rozměr role papíru	$\phi D \times L$	mm	1500 x 2 400

Tabulka 2 Technické parametry řady WRS [10]

typ stroje	A [mm]	B [mm]	C [mm]	ϕD [mm]	E [mm]	F [mm]	H - hmotnost [mm]
WRS-01-CON	3 600	2 000	2 100	1 500	5 726	800 – 2 000	9 765
WRS-01	3 600	2 000	2 100	1 500	5 063	800 – 2 000	7 065
WRS-02-CON	3 950	2 500	2 600	1 500	5 726	800 – 2 000	9 924
WRS-02	3 950	2 500	2 600	1 500	5 063	800 – 2 000	7 230
WRS-03-CON	4 650	3 000	3 100	2 000	6 200	800 – 2 000	10 300
WRS-03	4 650	3 000	3 100	2 000	5 500	800 – 2 000	8 300



Obrázek 1 Schéma rozměrů sekačky WRS [10]

1.1.1 Technický popis sekačky

„Sekačky WRS se skládají z pevné rámové konstrukce, na které je umístěno boční vedení. Vedení usměrňuje sekání a zachycuje příčné síly. Síla pro vlastní sekání je určena hydraulickými válci, které jsou spojeny s tělesem nože. Vychýlení tělesa nože při sekání je průběžně regulováno přesným děličem a kontrolována snímačem polohy. Řezná síla sekačky se pohybuje v rozmezí od 600 do 800 kN, podle typu sekačky (síla na dva válce). V případě kombinace sekačky a řetězového dopravníku je součástí sekačky hydraulický přízdvih pod ocelové lamely a také aretace řetězu proti jeho pohybu při sekání. V bezprostřední blízkosti sekačky je umístěn hydraulický agregát a ovládací panel s rozvaděčem.

V případě maximální automatizace dodáváme kompletní řídicí systém s dotykovým panelem a vizualizací. Rám konstrukce sekačky může být vzhledem ke způsobu dopravy a šířky sekačky kompletně nebo částečně svařený a spojený lícovanými šrouby.“ [10]

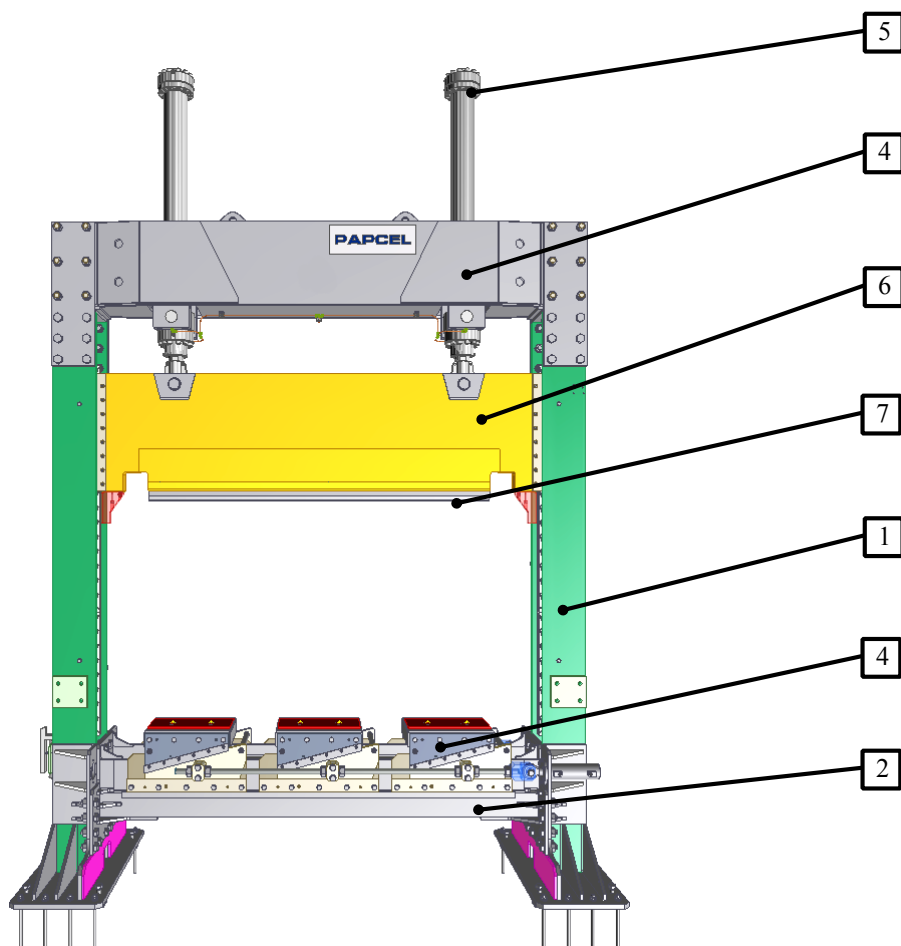
1.1.2 Konstrukční popis sekačky

Jednotlivé části stroje jsou: boční nosník (1), příčka spodní (2), přízdvih (3), příčka horní (4), hydraulické válce (5), nožový nosník (6) a nůž (7), viz (Obrázek 2). Boční nosník je profil I, opatřený výztuhami s konstrukčními otvory, základové patky s otvory pro upevnění k podlaze a žebrováním, pro stanovenou pevnost a stabilitu u kořene bočního nosníku. Dále je k nim připevněno kalené vedení s vyfrézovanými drážkami pro mazání (Obrázek 3). Tloušťka plechu žeber, patky a spojovacích desek je od 20 do 40 mm a materiál je konstrukční ocel třídy 11. Sestava bočního nosníku je řešena pomocí svařované konstrukce s koutovými svary.

Příčka spodní je velmi tuhý prvek sekačky, který musí odolat zatížení 800 kN, který se může šířit přes roli papíru. Proto je příčka složena z vnitřního systému žebrování a plechů nejrůznějších tvarů, zabraňující jakémukoliv prohnutí, které se může rozšířit dále do rámu stroje. Na obou koncích spodní příčky jsou otvory pro šrouby a na své horní straně je navrženo uložení pro spodní přízdvih. Použité tloušťky desek jsou od 20 do 30 mm, z konstrukční oceli třídy 11 a svařeny koutovými a $\frac{1}{2}$ V svary.

Příčka horní je koncová část sekačky, která je k rámu stroje připevněna šrouby a jejím úkolem je udělat konstrukci tuhou i u vrcholu rámu a rovněž musí být tuhá i ve směru sekání role papíru. Ve vzdálenosti 685 mm od osy bočního nosníku jsou na obou stranách oka pro hydraulické válce, které pohybují nožem. Příčka je navrhována z ocelových plechů tloušťky 20 mm a třídy 11 a svařena pomocí koutových a $\frac{1}{2}$ V svarů.

Celek rámu stroje je sestaven pomocí pevnostních šroubů pro lepší výrobu, manipulaci a následnou dopravu zákazníkovi.



Obrázek 2 Stávajícího řešení sekačky WRS

Příslušenství

Na sekačce je mimo jiné i nejrůznější příslušenství pro lepší ovládání a funkci stroje. Je jimi: dopravní zařízení (řetězový dopravník s ocelovými lamelami, soustava dvou pásových dopravníků, které navazují na pevné lože sekačky), automatické mazání nože, zařízení s velkoplošným displejem, ovládací panel s vizualizací, sklápěcí a pomocné stoly.

Sekací nůž je vyroben z nástrojové oceli, současné vedení je vyrobeno z nelegované oceli a zbytek prvků jsou vyrobeny z konstrukční oceli.

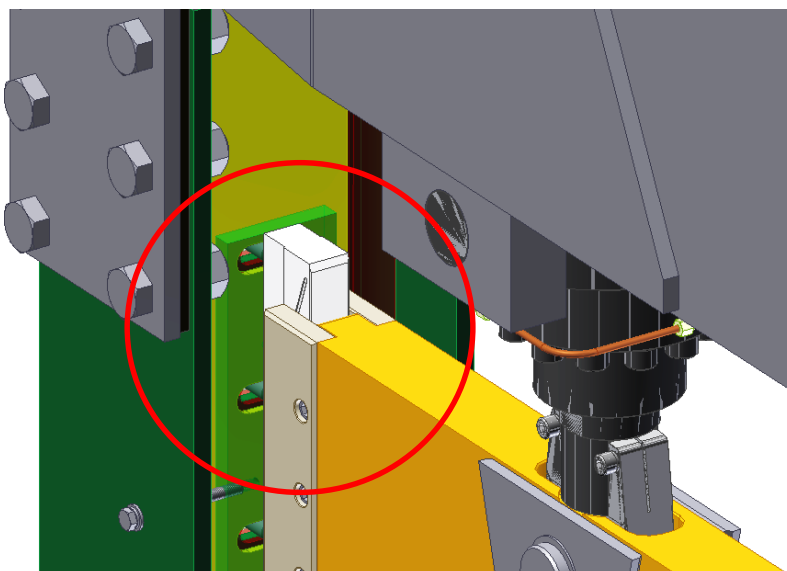
1.2 Popis problému

Nynější konstrukce, popsaná výše, má však několik nevýhod, které se objevily až při provozu. Vždy je nutno mít na paměti fyzikální zákony a je složité si představit pohyby stroje a s tím spjaté omezení pohybu nejrůznějších částí stroje.

Mezi důvody optimalizace nynějšího rámu patří velká hmotnost podsestav konstrukce, která vznikla z předimenzování některých prvků. Samotná konstrukce rámu bez příslušenství váží $m = 6\,937\text{ kg}$. Avšak nejzávažnějším důvodem, proč je nutno konstrukci upravit, je zadrhávání nožového nosníku.

Jako vedení je zde použito lineární kluzné vedení s kalenou ocelovou tyčí s vyfrézovanými drážkami pro hydraulické mazání (Obrázek 3). Vlivem těsného uložení nožového nosníku a lehkého předběhnutí jednoho hydraulického válce vůči druhému dochází ke zvýšenému tření a následně možnému zadrhnutí nožového nosníku, které vede k trhavému pohybu sekání role nebo i k zastavení procesu sekání. K tomu přispívá i čepové uložení hydraulických válců, které dovolují nožovému nosníku se natočit.

Z důvodu problémů s lineárním kluzným vedením je třeba navrhnout jiný typ vedení a spolu s tím i jiný typ konstrukce rámu stroje.



Obrázek 3 Detail kluzného vedení

1.3 Cíle práce

Úkolem diplomové práce je konstrukčně upravit rám stroje sekačky odpadových rolí, typ WRS. Zejména tedy boční nosník a horní příčku, z důvodu jiného konstrukčního řešení za stávajících pevnostních podmínek.

Úkolem je umístit hydraulické válce co nejvíce do osy bočního nosníku, nejlépe, aby byly úplně v ose sloupů a navrhnout jiný typ vedení nožového nosníku. Z toho vyplývá jiné konstrukční řešení bočního nosníku a horní příčky. Nová konstrukce musí mít stejnou nebo vyšší únosnost za celkové nižší hmotnosti konstrukce a podobné rozměry.

Z důvodu zachování tuhosti konstrukce a minimálního průhybu při dělení role bylo rozhodnuto, že Spodní příčka spolu s přízdvihem **nebude** součástí řešení diplomové práce a v nové konstrukci bude použito stávající řešení.

1.4 Popis strojů jiných firem

Následující kapitola odkazuje na nejrůznější řešení sekaček rolí a odpadu některých výrobců. Jak je zde uvedeno, tak obecně sekačky se mohou používat na sekání nejen odpadových rolí papíru, jako je tomu u zadavatele, ale i na sekání plastových fólií a obecně odpadu. Nejvíce se však užívají na sekání rolí papíru.

Při prohledávání na internetu bylo mnoho sekaček podobných stávající konstrukci, kterou nabízí i zadavatel. Většina rámců byla z masivní svařované konstrukce, tvořených silnými plechy a ČSN profily U, I, H. Některé konstrukce rámců sekaček byly svařeny jako celek, tzn. sloupy, spodní příčka, horní příčka a příslušenství, tvořící jednu konstrukci. Ale většina, vč. verze WRS od zadavatele., jsou šroubované konstrukce se svařovanými podsestavami. Jako pohon nožového nosníku jsou použity hydraulické válce, umístěné mimo osu sloupů nebo ozubené hřebeny. Některé hydraulické válce jsou od sebe vzdálené více, některé jsou blíže. Avšak druh použitého vedení u převážné většiny hledaných sekaček viditelný není. Jen na obrázcích firem Bronneberg a RikoEkos je zřejmě použito kuličkové valivé vedení s ocelovou tyčí.

Pro přehlednost jsou přiloženy sekačky různých výrobců.



Obrázek 4 Sekačka firmy RMH [3]



Obrázek 5 Sekačky firmy Fimic [4]



Machines for cutting bundles or bales

Obrázek 6 Sekačka firmy RikoEkos 1 [5]



Obrázek 7 Sekačka firmy RikoEkos 2 [5]



Obrázek 8 Sekačka firmy Bronnenberg [6]



Obrázek 9 Sekačka firmy REI [7]

2 Obecně ke konstrukci

2.1 Možnosti spojení dílů

Spojení jednotlivých částí stroje se řeší pomocí svařovaných dílů, šroubovaných dílů nebo kombinací.

Svařovaná konstrukce se používá hlavně tam, kde nevadí, že je to nerozebíratelný spoj. Je to velice rychlý způsob spojení dvou součástí. Povrch musí být očištěn, odmaštěn s povrchovou úpravou stykových ploch pro $\frac{1}{2}$ V, V, U, Y, X svar. Svařujeme obalenou elektrodou nebo v ochranné atmosféře. Svařováním vznikají v konstrukcích pnutí, které se musí následně odstraňovat. Proto se svařuje, jen pokud je to nutné.

Šroubovaná konstrukce je nejvíce rozšířená aplikace spojů. Tomu také odpovídá bohatá nabídka typů šroubů s mnoha druhy hlav šroubů. Je to spojení dvou či více plechů pomocí tření v závitech. Plechy můžeme spojovat buď šroubem a maticí, kde je průchozí díra nebo šroubem a závitem v druhé součásti, (popř. šroubem a navařenou maticí). Do šroubovaných součástí se musí vyvrtat díra skrz odpovídající průměru šroubu nebo neprůchozí díra odpovídající velikosti závitu a následně do ní závit vyřezat. K provedení toho spoje potřebujeme jen vrtačku s vrtákem, šroub, matici a klíče.

Kombinovaná konstrukce svařovaného a šroubovaného spoje

Asi nejrozšířenější typ montovaných konstrukcí. Využívá se kombinace svařované a šroubované konstrukce a tím je docíleno lepší manipulace a levnější výroby. Celková součást, například rám stroje se vyrobí na několik podsoučástí, aby byla vhodná pro přepravu a až na místě doručení se složí do hotového celku, nejčastěji šroubováním.

2.2 Lineární kluzná a lineární valivá vedení

Lineární vedení jsou systémy, sloužící pro převodní pohyby. Jako je tomu u ložisek, tak i zde se rozlišují prvky, které přenáší síly kluznými nebo valivými prvky. Každá řešená aplikace vedení má svoje rozdílné vlastnosti, ve kterých se může použít. Například u přepravních a podávacích systému je důležitá rychlost a přesnost, na druhé straně u měřicích strojů je tomu přesnost a tuhost lineárního vedení. Již dopředu musí být známa teoretická stavba stroje, pro nejlepší volbu druhu uložení a umístění na rámu stroje a následně dostatečné tuhosti vedení. Každý druh aplikovaného lineárního vedení má své příznačné vlastnosti, které jsou zvlášť vhodné pro některé případy uložení. Výběr druhu vedení nelze definovat jen přímočaře a v řadě případů do volby vedení vstupují nejrůznější činitele, které je třeba zohlednit a zvažovat mezi sebou. Mezi takové činitele může řadit zdvihy, rychlosti, zrychlení, druh mazání, způsob montáže, údržbu a také vnější vlivy, např. vibrace, teplota okolí, vlhkost, ve kterém stroj bude stát. Druhy vedení: kluzné, valivé, kombinované, aerostatické. [1]

2.2.1 Valivé vedení

Lineární valivé vedení je vedení složené z ložiskových kladek a profilových lišt, vedení hřídelí s lineárními kuličkovými ložisky, vedení s plochými klecemi, vedení s opěrami s oběhem valivých prvků a kuliček a poháněné lineární jednotky. Další konstrukční varianty jsou malé vedení pro mechatroniku a jemnou techniku. Vlastnosti takovýchto prvků jsou: vysoká tuhost a nízké tření a vysoká nosnost. Zmíněná vedení se používají v oblasti, kdy jiné typy vedení potřebují daleko větší objemový prostor za srovnatelných, či dokonce lepších mechanických podmínek. Vedení se skládají z lišty s vozíkem, systému hřídele s lineárním ložiskem nebo z jednotek lišta-lišta s mezilehlými valivými prvky nebo kuličkami s plochou klecí. Poháněné lineární jednotky jsou jednoosé nebo víceosé kompletní systémy s mechanickým systémem vedení, elektromotorem a řízením. Vedení s plochými klecemi a sady lineárních vedení se používají vzhledem ke kinematice v aplikacích s omezenými zdvihy. Ložiska zachycují síly ze všech směrů a momenty ve všech osách. Vedení hřídelů s lineárními kuličkovými ložisky jsou vhodné pro zatížení ze dvou směrů a stejnou statickou chybu lícování hřídele. Při návrhu vedení se zvažuje velikost a druh zatěžování, životnost a provozní bezpečnost uložení. Obecně lze při stejných vnějších rozměrech kuličkových a

válečkových ložisek zatěžovat válečková ložiska více než ložiska s kuličkami. Použití u středních zatížení a vysoce dynamických pohybech většinou používají kuličková vedení. Při vysokých zátěžích se užívají válečková vedení. Výhody valivého vedení jsou: celkově nižší součinitel tření, minimální opotřebení = dlouhá životnost, možnost předeptnutí a vymezení vůle, při malých rychlostech vysoká přesnost pohybu, snadná údržba, při vhodné konstrukci lze docílit vysoké tuhosti. [1], [2]

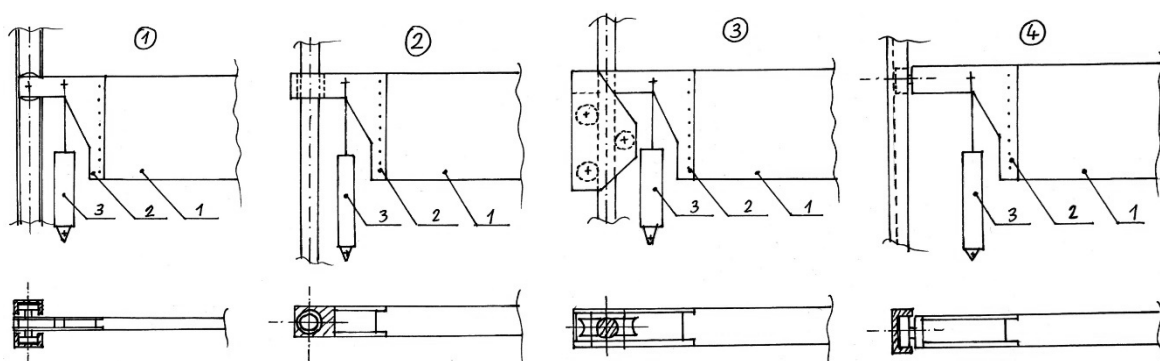
2.2.2 Kluzné vedení

Rozdíl mezi valivým a kluzným vedením je takový, že u valivého vedení rozdělují jednotlivé prvky rotující díly. U kluzných vedení se po sobě pohybují dva díly. Nejčastěji to jsou systémy lišt a vozíků opatřené kluzným obložením, pohybujících se po bezúdržbové kluzné vrstvě. Takovému vedení říkáme hydrodynamické, kdy se vrstvička maziva uvolňuje až při pohybu po vedení. Existuje mnoho kluzných materiálů, např. šedá litina, ocel, bronz, umělá hmota, aj. Vrstvička maziva zmenšuje koeficient tření a zlepšuje přenos pohybů. Záleží také na druhu maziva. K dalším typům kluzného vedení patří hydrostatické. To se používá na aplikace, kdy potřebujeme odstranit skokový pohyb. U takového vedení se pomocí čerpadla přivádí mazivo do tzv. kapsí a podle zatížení se mění mezera a tlak mezi kluznými deskami. Výhody kluzného vedení jsou: nízké opotřebení, lze je staticky silně zatěžovat, jsou necitlivá vůči rázům, nevadí jim znečištění, pracují s nízkou hlučností a mají plynulý chod. Existují i bezúdržbová kluzná vedení, která není třeba mazat, jsou vyrobeny z materiálů s nízkým třením a lze je uplatnit při nouzovém chodu. Použití takových typů je například v odvětví, kde se klade důraz na čistotu provozu a mazivo je nepřípustné a nežádoucí, v místech, kde může dojít k nedostatečnému mazání nebo při vysokých nárocích na údržbu. Doba životnosti lineárního kluzného vedení závisí na zatížení, na rychlosti pohybu, teplotě a době zapnutí. Dále tu jsou jiné omezující faktory – například nečistoty, koroze při chodu nasucho nebo možné stárnutí maziv při nedostatečném mazání. Jmenovitá životnost je z toho důvodu vždy jen orientační. [1]

3 Konstrukce nového rámu s vedením

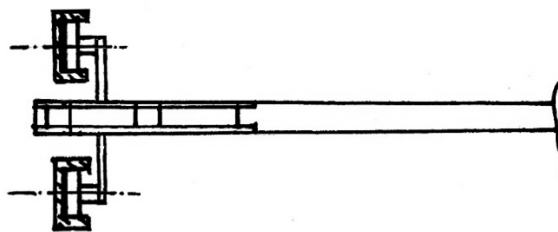
V textu níže je popsán postup konstrukce upravené verze rámu sekačky. Před samotným začátkem modelování jsem si nakreslil několik možností řešení lineárních vedení a uchycení hydraulických válců (Obrázek 10). Pozice č. 1 značí nožový nosník, pozice č. 2 značí desky, pro spojení nožového nosníku s vedením a hydraulickým válcem a pozice č. 3 značí hydraulický válec.

Varianta č. 1 obsahuje dvě valivé kladky, jezdící v U – profilech, vše od firmy Winkel. Dále je použit hydraulický válec, který při zasouvání bude konat řezný pohyb na roli papíru a bude schovaný v konstrukci. Varianta č. 2 obsahuje valivé pouzdro s kuličkami, které se pohybuje po válcové tyči. Varianta č. 3 má rovněž válcovou tyč, ale nyní se po ní odvalují tři kladky. Varianta č. 4 rovněž obsahuje kladky Winkel, které jsou však umístěny na čele desek nožového nosníku a je potřeba jen dvou U – kolejnic, každá na jedné straně.



Obrázek 10 Možné varianty vedení

Jednotlivá řešení byla podrobně konzultována s firemním vedoucím diplomové práce a byly uvažovány výhody a nevýhody jednotlivých variant. Jako nejpříjemnější se jevíly varianty č. 1 a 4, kdy je využito lineárních valivých kladek, které mají jak radiální, tak i axiální únosnost. Kombinací obou variant vznikla předběžná verze, s umístěním kladek tak, aby sílu od vybočení nože přenášely radiálně. Pro lepší stabilitu je využito páru kladek nahoře i dole na nožovém nosníku (Obrázek 11). Samotná konstrukce je řešena níže, kde budou podrobně upřesněny rozměry a možnosti uchycení jednotlivých dílů, spolu s detailnějším rozpracováním rámu.



Obrázek 11 Předběžná verze vedení

U realizace bylo myšleno na rozložení konstrukce, kde se sloupy, hydraulické válce a kladky musí zařadit co nejvíce do osy sloupů, z důvodů lepšího rozložení sil při řezání role a minimalizaci ohybových momentů, viz.: Cíle práce.

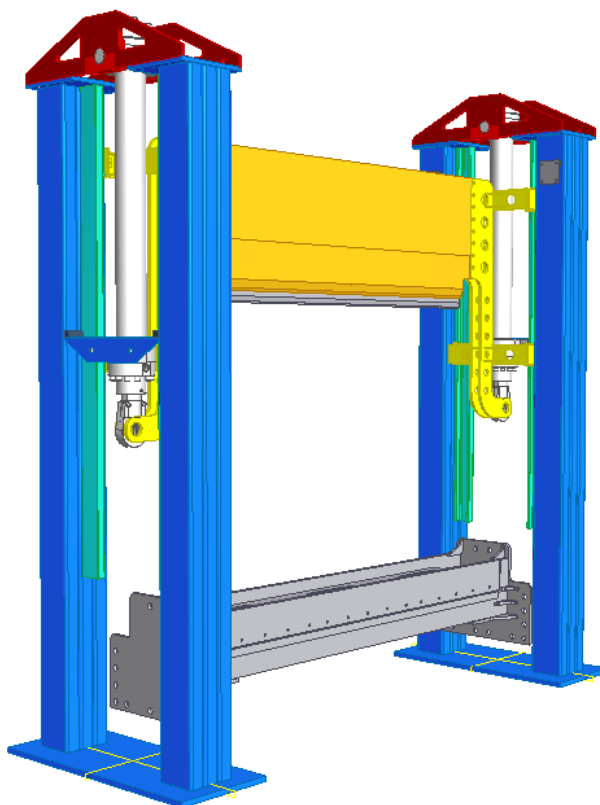
Při modelování se vycházelo z požadavků:

- Podobné rozměry konstrukce rámu
- Dodržení technologických rozměrů pro možnost dělení role
- Podsestavy rámu svařované, sestavy šroubované
- Tuhost konstrukce
- Jednoduchá konstrukce
- Menší hmotnost rámu oproti původní verzi

Pro realizaci všech navržených dílů rámu bude využito profilů, plechů z konstrukční oceli tř. 11 dle normy ČSN a spojovacích součástí dle normy ČSN a ISO.

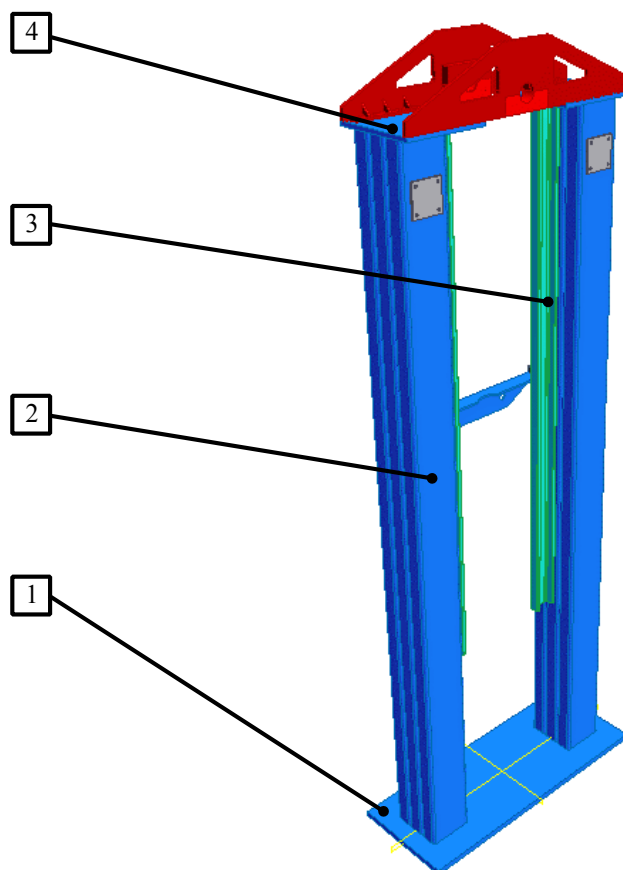
3.1 Konstrukce s hydraulickým válcem mezi sloupy

První varianta, kterou jsem modeloval, byla s ukrytými hydraulickými válci v konstrukci sloupů (Obrázek 12). Rám je složen ze sestavy: Sloupů (modrá), Upnutí hydraulického válce (červená), Táhla nožového nosníku (žlutá) a Nožového nosníku (oranžová).



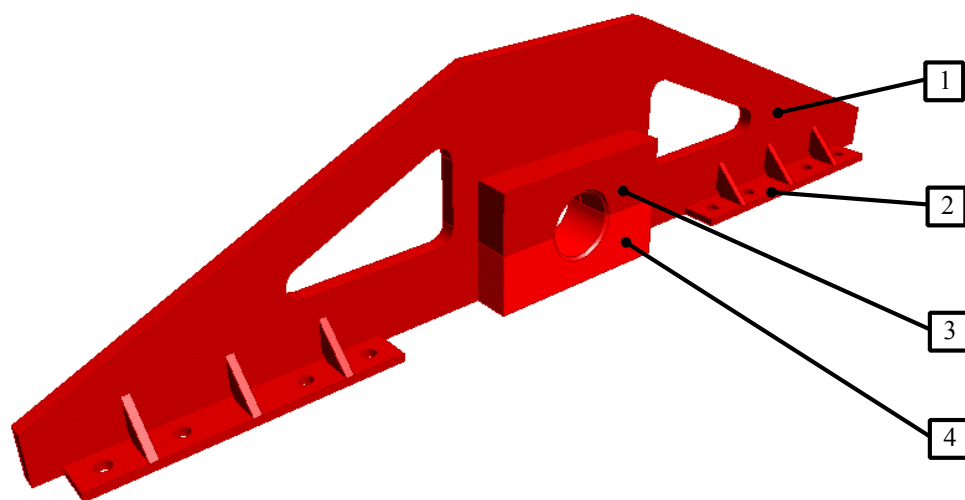
Obrázek 12 První varianta konstrukce

Základem sestavy Sloupů (Obrázek 13) je ocelová patka (1) s kotevními otvory, na které je přivařena dvojice Nohou (2). Každá z Nohou je svařena z trojice obdélníkových profilů 250 x 100 x 8 mm a tvoří konstrukci o rozměrech 300 x 250 mm, pro zvýšení hodnoty tuhosti kvadratického momentu I a tím i minimalizaci ohybu sloupu při vychýlení nože při řezání role. Z vnitřní strany Sloupu jsou dvě U – kolejnice firmy Winkel (3), (rozměr je upřesněn níže). Na vrcholu nohy je přivařena upínací deska s otvory (4), na kterou se přišroubuje Upnutí hydraulického válce.



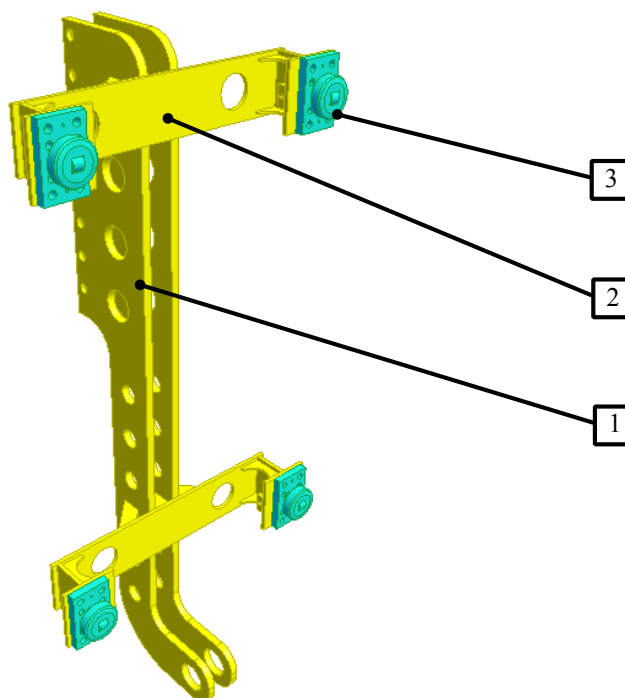
Obrázek 13 Sloup

Sestava Upnutí hydraulického válce (Obrázek 14) je v podstatě lichoběžníkový plech (1), zabezpečující svým tvarem tuhost při zatěžující síle $F_{s1} = 400 \text{ kN}$, vyvolané každým válcem. Jsou zde přivařeny upínací prvky ke spojení se Sloupem (2), pomocí 16 šroubů M16 a dále kostky (3), které umožňují 100% opěrnou plochu čepů hydraulického válce. Protilehlá kostka (4) je k sestavě přišroubována pomocí imbusových šroubů M24 x 160 mm.



Obrázek 14 Sestava upnutí hydraulického válce

Táhlo nožového nosníku (Obrázek 15) je rovněž svařovaná konstrukce. Základem jsou dvě L – desky (1), délky 1 500 mm, na které je přivařena dvojice upnutí pro kladky (2). V požadavcích vedoucího práce bylo, že kladky musí být radiálně stavitelné, z důvodu nedodržení odpovídající přesnosti při svařování. Problém je vyřešen pomocí stavitelného šroubu. Pro plynulý pohyb jsem zvolil kladky firmy Winkel (3), (velikost bude upřesněna níže). Táhlo je k nožovému nosníku připevněno pomocí 16 lícovaných imbusových šroubů M20 x 50 mm.



Obrázek 15 Táhlo

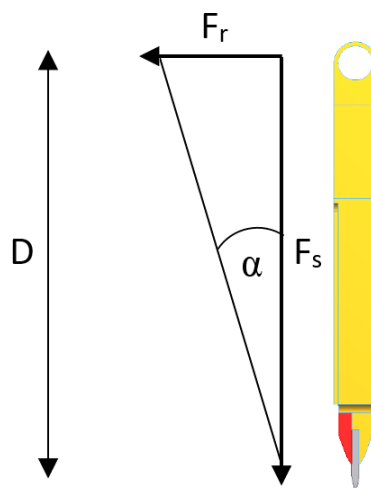
Velikost pojezdové kladky a U – kolejnice:

Vycházel jsem z předpokladu vychýlení nože při řezání o úhel $\alpha = 2^\circ$. V praxi je takřka nemožné se k takovému vychýlení dostat, z důvodu vysoké přesnosti výroby, tuhosti rámu a použití jakéhokoliv vedení, které vymezuje oblast pohybu. Reálné vychýlení bude minimální. Avšak návrh kladek na dané vychýlení bude sloužit jako extrémní řešení a do provozu budou mít kladky určitou bezpečnost.

Výpočet radiální síly F_r je počítáno z Pythagorovy věty. Řezná síla F_s je brána v součtu na oba hydraulické válce, tedy $F_s = 800$ kN.

Tabulka 3 Zadané hodnoty

Řezná síla	F_s	kN	800
Vychýlení nože	α	°	2
Průměr role	ϕD	mm	1 500



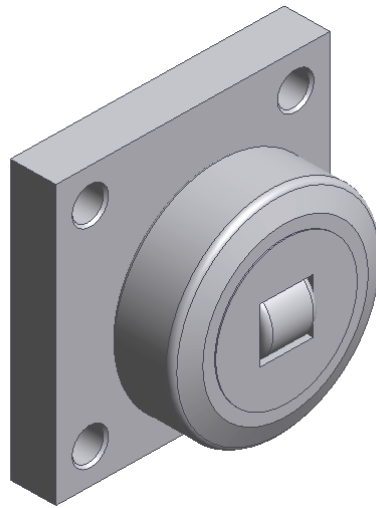
Obrázek 16 Schéma rozdělení sil

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_r^{**}}{F_s} \quad (3.1.1)$$

$$F_r^{**} = \operatorname{tg} \alpha \cdot F_s = \operatorname{tg} 2^\circ \cdot 800 = 28 \text{ kN}$$

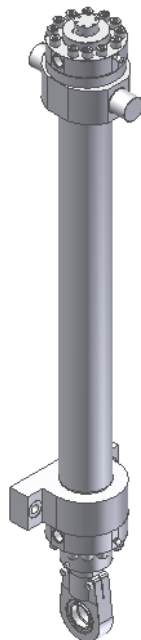
Z důvodu použití kladek na obou stranách nožového nosníku je radiální síla F_r^* poloviční oproti F_r^{**} , tedy 14 kN. A použijeme-li dvojice kladek, jednu na horní a druhou na spodní stranu nožového nosníku, bude celková zatěžující radiální síla $F_r = 7$ kN. Na tuto hodnotu (nebo vyšší) musí být navrženy kladky.

Kladky jsem vybral od společnosti Winkel a spolu s nimi budou použity U – kolejnice. Dle firemního katalogu na stránkách jsem vybral přesné fixní osové ložisko, typ **PR 4.054**, $\phi 64,8$ mm, $F_r = 10,3$ kN, $F_A = 3,2$ kN, s přírubou **AP 0-Q** a přesným profilem **PR 0 NbV** [15]. Přesné ložisko a přesný profil mají mezi sebou vůli jen 0,2 mm, proto se hodí na vertikální vedení nožového nosníku, zabraňující jakémoliv vychýlení a tím i namáhání celé konstrukce.



Obrázek 17 Kladka PR 4.054

Velikost hydraulického válce (Obrázek 18) je stejná, jako v minulé konstrukci sekačky. Tedy $\phi 170$ mm, zdvih 1 600 mm a tomu odpovídá řezná síla $F_{S1} = 400$ kN na jeden válec, tedy celková řezná síla $F_S = 800$ kN, při použití dvou hydraulických válců. Jen dodatečné příslušenství je jiné. Příruba s čepy je přesunuta na horní stranu válce a na spodní straně válce je patková příruba. Zmíněná úprava umožňuje ukrýt válec v konstrukci sloupu a nemusí vyčínát nad konstrukcí samotného rámu.



Obrázek 18 Modifikovaný hydraulický píst

Klady a zápory konstrukce:

- + Nevyčnívající hydraulický válec
- + Možnost válce upnout za druhý konec
- + Nekřížící se nůž od tahové síly válce
- + Jednoduchý tvar Nožového nosníku
- + Souosost Sloupů, U – kolejnice a kladek
- + Vysoká životnost kladek

- Složitá konstrukce Nohou
- Použití U – kolejnice (cena)
- Po svaření konstrukce složité frézování vodících ploch kladek
- Složitá konstrukce vedení a nastavování kladek
- Táhlo koliduje se spodním příčným (z důvodu realizace modelu bez něj)
- Šrouby Táhla a Nožového nosníku jsou namáhány na střih

Zhodnocení:

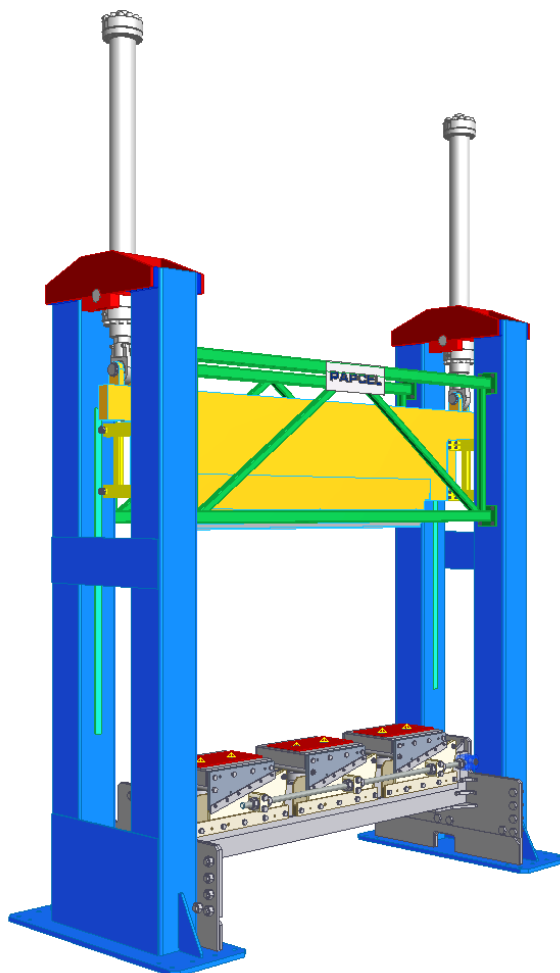
Po několika konzultacích ve firmě vzešla moje první varianta, která obsahovala řadu výhod, ale i nevýhod. Samotná konstrukce splňuje technické požadavky, které byly určeny. Hydraulický válec je ukrytý v konstrukci Sloupu, jsou použity valivé kladky, Sloup je zatěžován na prostý tah a u nožového nosníku nedochází ke křížení z důvodu využití tahové složky síly hydraulického válce. Nespornou výhodou celé konstrukce (kromě vedení a nastavování kladek) je její jednoduchost na výrobu. Jsou zde využity ČSN profily a plechy a není třeba dalšího zpracování polotovarů.

Avšak z důvodu výskytu několika nevýhod, některých závažných, některých méně, byla kladena nutnost na jejich odstranění. Naskytla se možnost upravit jen některé prvky, pro zachování víceméně podobného tvaru sekačky, ale firma měla trochu jinou představu, jak by sekačka měla vypadat a fungovat. Proto bylo rozhodnuto, že se začne v podstatě znova. Některé díly mohou zůstat stejné, jiné se musí předělat. Požadavky, na kterých se bude stavět od minulého typu konstrukce, jsou: jednodušší konstrukce Nohou, jiné uchycení válce, nožového nosníku a vedení nože, použití jiných valivých kladek.

3.2 Konstrukce s hydraulickým válcem nad sloupy

Druhá varianta vycházela z požadavku použití jiných kladek, jednodušší konstrukce Nohou, jiného uchycení válce, nožového nosníku a vedení nože. Rovněž byl požadavek na předchozí upnutí hydraulického válce za jeho spodní část. Po konzultaci, že bude válec vyčnívat nad rám stroje, nevadí. Haly, ve kterých budou stroje pracovat, mají dostatečně vysokou střešku a další realizace s ukrytými válci by byla složitá a nákladná. Proto bylo zadání vrátit se k původní verzi uchycení.

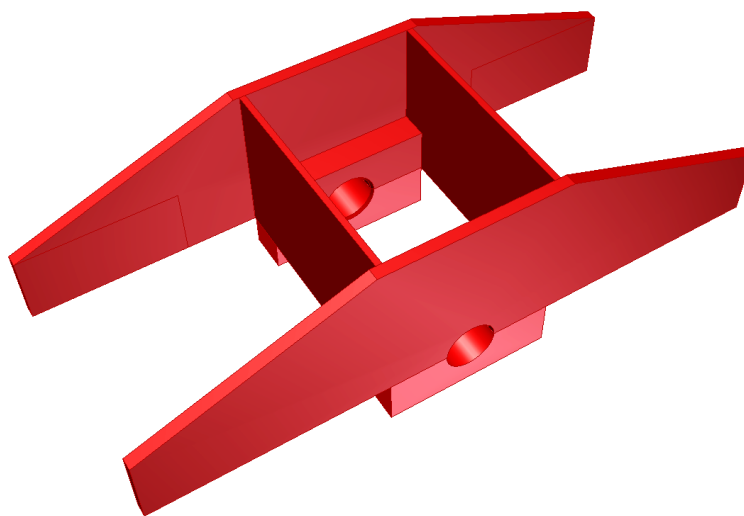
Rám stroje (Obrázek 19) je složen ze sestav: Sloupů (modrá), Upnutí hydraulického válce (červená), Vedení nože (žlutá) a Nožového nosníku (oranžová) a Příčky pro spojení Sloupů (zelená).



Obrázek 19 Druhá varianta konstrukce

Jako v první verzi, je i zde základem ocelová patka (1), (Obrázek 21) 1700 x 600 x 30 mm s kotevními otvory, na které je přivařena dvojice Nohou. Oproti původní verzi Nohou tvořených ze třech obdélníkových profilů 250 x 100 x 8 mm, tvořící celek o rozměrech 300 x 250 mm, jsou použity dva čtvercové profily na každou nohu. Každá z nohou má rozměr 300 x 300 x 8 mm (2). Jelikož v nové verzi Sloupů je umístěno nové vedení pojezdových kladek, které je užší, tak mohly být Nohy umístěny blíže k sobě. Konkrétně z 800 mm na 500 mm a tím celková konstrukce štíhlejší. Na vnitřní straně Nohou, jsou místo minulých U – kolejnic, přivařeny klasické obdélníkové tyče PLO 50 x 10 mm (3) a jsou umístěny v ose každé z nohou. Na horní straně Sloupu je nově přivařeno Upnutí hydraulického válce (Obrázek 20), které spolu se sestavou Nohou tvoří jednotný celek. Výhody sloučení sestavy Nohou a Upnutí hydraulického válce jsou:

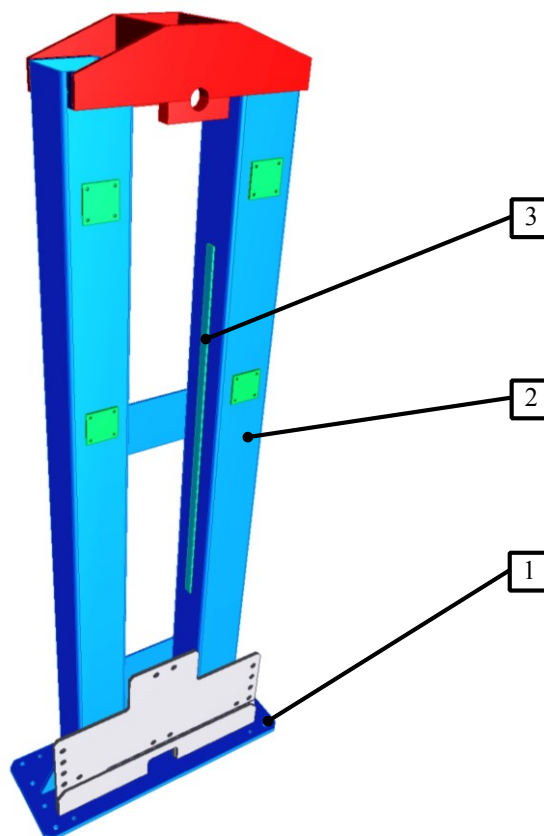
- + Větší přesnost výroby
- + Větší přesnost funkčních částí
- + Lepší manipulace a přeprava
- + Střížnou sílu válce nepřenáší šrouby, ale svary



Obrázek 20 Detail Upnutí válce

Rozhodnutí pro použití svařování celé konstrukce Sloupu tkví v tom, že přesnost svařování bude větší, než pokud by se svařily podsestavy a ty se pak spojily šrouby. Jako další prvky jsou na konstrukci přivařena žebra, spodní a střední výztuhy a napojovací deska pro Spodní příčku.

Ke zvýšení přesnosti bude po procesu svařování Sloup umístěn na frézku, kde se opracují dosedací plochy čepů hydraulického válce, vodící plochy kladek, plochy napojovacích desek pro umístění sestavy Příčky a další (budoucí) funkční plochy.



Obrázek 21 Sestava Sloupu

Pro hladký chod nože a nutnosti použití obdélníkových tyčí, jako vodících ploch kladek, byla nutnost najít jiné kladky, než od výrobce Winkel. Kritériem pro hledání nových kladek bylo, že musí mít válcovitý tvar a musí mít radiální únosnost větší, než 7 kN. Jako dostatečná náhrada se jevíly kladky od výrobce Schaeffler. Firma Schaeffler nabízí mnoho druhů ložisek, ložiskových těles, lineárních kluzných a lineárních valivých ložisek. Z firemního katalogu přicházely v úvahu řady válečkových ložisek: KR, KRE, NUKR, NUKRE, PWKR, PWKRE. [11] Řada KR a KRE jsou jehlové kladky, řada NUKR a NUKRE jsou jednořadé válečkové kladky a PWKR, PWKRE jsou dvouřadé válečkové kladky. Písmeno „E“ vždy u druhé kladky z daného typu znamená, že kladka je excentricky stavitelná.

Z výčtu kladek je ideální k použití řada KRE, tj. kladky s jehlovým ložiskem a excentrickým nastavením. Radiální dynamická únosnost řady KRE je od 3,15 kN do 40,5 kN. Navíc kladka umožňuje excentricky eliminovat výrobní tolerance a zabezpečuje přímý styk kladky a vodící plochy a zabezpečí přesný vertikální pohyb nože. Výhody využití kladky:

- + Vymezení přesného vertikálního pohybu nože excentrickým členem
- + Možnost vyrobit si svou řadu excentrů
- + Jednoduchá konstrukce Vedení nožového nosníku
- + Nízká výrobní cena celé sestavy Vedení nožového nosníku s použitím exc. kladky
- + Případná axiální únosnost kladky

Dle výsledku ze (Vzorce 3.2.1), tedy radiální zatížení jedné kladky $F_r = 7 \text{ kN}$ a vztahu, kdy zatížení kladky F_r musí být větší, než polovina statické únosnosti C_{0r} w daného ložiska [12]:

$$F_r > 0,5 \cdot C_{0r} w \quad (3.2.1) [12]$$

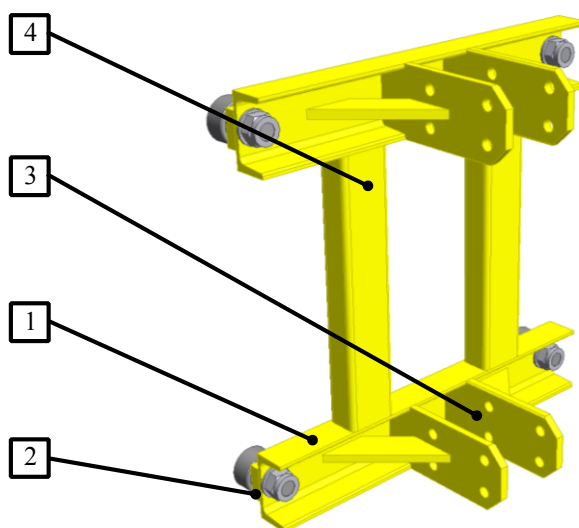
jsem navrhl velikost kladky KRE35-PP (parametry v Příloze 1). Na základě nutnosti výdrže kladky na dobu dvouletého nepřetržitého provozu, tj. $T_N = 12\,500$ hodin, jsem provedl pevnostní výpočet, zda opravdu kladka takovou dobu provozu vydrží. Zpráva z pevnostního výpočtu je uvedena v příloze (Příloha 2). Navržená kladka KRE35-PP počet hodin nevydrží a je nutno zvolit vyšší řadu kladky KRE. Podle stejného výpočtu jsem postupoval velikostmi kladek, až do velikosti KRE47-PP (Obrázek 22), (parametry v Příloze 3). Výsledná životnost ložiska je $T_N = 14\,160$ hodin provozu, dle výpočtu (Příloha 4), což splňuje podmínku životnosti.



Obrázek 22 Pojezdová kladka KRE47-PP

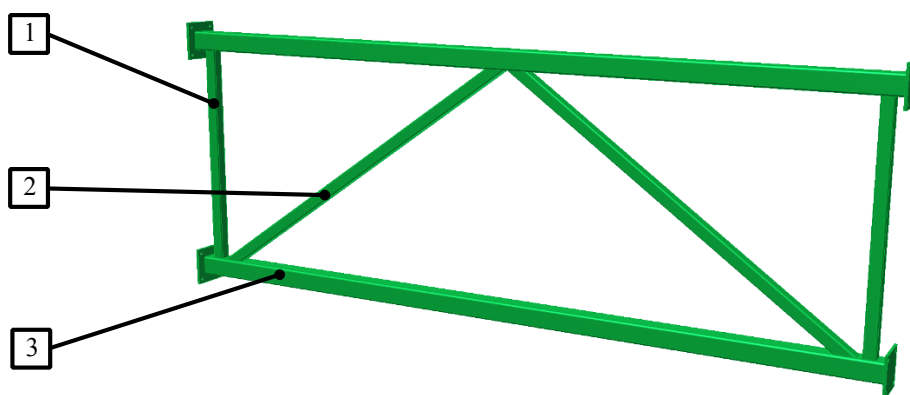
Původní verze Táhla nožového nosníku byla dosti složitá na výrobu a nezaručovala 100% účinnost nastavování kladek Winkel. Proto jsem zkonstruoval sestavu Vedení nože (Obrázek 23), která je oproti původní verzi jednodušší. Konstrukce je postavena okolo kladek Shaffler, pro co nejlepší funkčnost. Základ podsestavy tvoří UE profil velikosti 80 (1), na kterém jsou přivařeny dvě příložky (2), a do nich je vyvrtán otvor tolerance h9, pro uchycení kladek. Kladky jsou od firmy Schaeffler, typ KRE47-PP. Na konstrukci jsou dále úchyty vedení s otvory pro uchycení na nožový nosník (3) a podpěrná žebra. V celku konstrukce jsou dvě výše popsané podsestavy, spojené dvěma obdélníkovými profily 60 x 40 mm (4) pro zajištění lepší manipulace a vyšší tuhosti. Největší výhodou nové konstrukce je, že šrouby upínání na nožový nosník nejsou namáhány na stříh, díky úpravě nožového nosníku v podobě vyfrézované kapsy. Nyní se střížná síla přenáší přímo přes čep v nožovém nosníku a Vedení nože plní jen funkci usměrňování pohybu nože. Sestava Vedení nože má následující výhody:

- + Jednodušší konstrukce
- + Užití excentrických kladek pro ustavení nožového nosníku
- + Tuhost konstrukce
- + Jednoduchá montáž

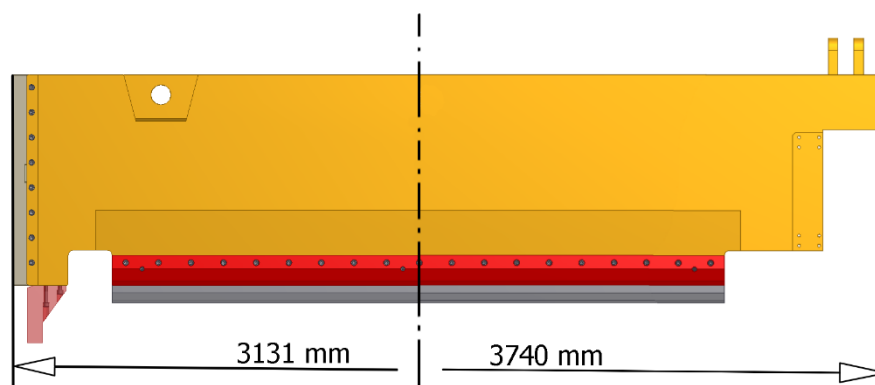


Obrázek 23 Vedení nože

Pro dokonalou tuhost rámu, ochranu nože a snížení rizika úrazu, jsou mezi Sloupy vloženy Příčky (Obrázek 24). Jsou svařeny ze čtvercových profilů 80 x 80 x 4 mm (1) a 50 x 50 x 4 mm (2, 3). Výplň Příčky bude opatřena děrovaným plechem.



Obrázek 24 Příčka



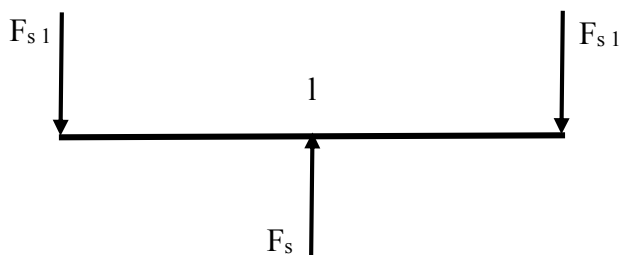
Obrázek 25 Porovnání starého a nového nožového nosníku

Kontrola nožového nosníku:

Nožový nosník jsem kontroloval ručním pevnostním výpočtem na ohyb. Výpočet si můžeme představit tak, že uprostřed bude ponechána například ocelová tyč (tyč dokonale tuhá) a na druhém konci budou vyvolávat ohybový moment střížné síly hydraulických válců F_{S1} . Rozměry b , h , l nožového nosníku jsem uvedl do tabulky (Tabulka 4).

Tabulka 4 Zadané hodnoty

řezná síla	F_{S1}	[N]	400 000
šířka nožového nosníku	b	[mm]	100
výška nožového nosníku	h	[mm]	845
délka ramene	l	[mm]	2940
mez pevnosti v tahu 11 523	R_m	[MPa]	510 – 680



Obrázek 26 Schéma zatížení

$$\Sigma F_y = 0 \quad (3.2.2)$$

$$-F_{S1} - F_{S1} + F_S = 0$$

$$-400 - 400 + 800 = 0$$

$$\Sigma M_i = 0 \quad (3.2.3)$$

$$-F_{S1} \cdot \frac{l}{2} + F_{S1} \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$-F_{S1} \cdot \frac{l}{2} = -F_{S1} \cdot \frac{l}{2}$$

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} \leq \sigma_{DO} \quad (3.2.4)$$

$$M_O = F_{S1} \cdot \frac{l}{2} = 400\,000 \cdot \frac{2\,940}{2} = 588\,000\,000 \, Nm \quad (3.2.5)$$

$$W_{Ox} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{100 \cdot 845^2}{6} = 11\,900\,417 \, mm^4 \quad (3.2.6)$$

$$\sigma_O = \frac{588\,000\,000}{11\,900\,417} = 49,41 \, MPa$$

$$\sigma_{DO} = 0,43 \cdot R_m = 0,43 \cdot 595 = 255,85 \, MP \, [13]$$

$$\sigma_O \leq \sigma_{DO} , \mathbf{VYHOVUJE}$$

Klady a zápory konstrukce:

- + Jednoduchá konstrukce Nohou
- + Použití obdélníkové tyče na vodící plochy kladek
- + Jednoduché ustavení nožového nosníku pomocí excentrických kladek
- + Souosost Nohou, vodící obdélníkové tyče a kladek
- + Střížná síla od válců je přenášena pomocí čepů na nožový nosník
- + Namáhání rámu na prostý tah od střížné síly válců
- + Slušná úspora hmotnosti oceli na rámu ($\Delta m = 2\,358,4\text{ kg}$)

- Možné křížení nože od tlakové síly válce
- Poněkud velký a těžký nožový nosník (navýšení hmotnosti o $\Delta m = 263\text{ kg}$)

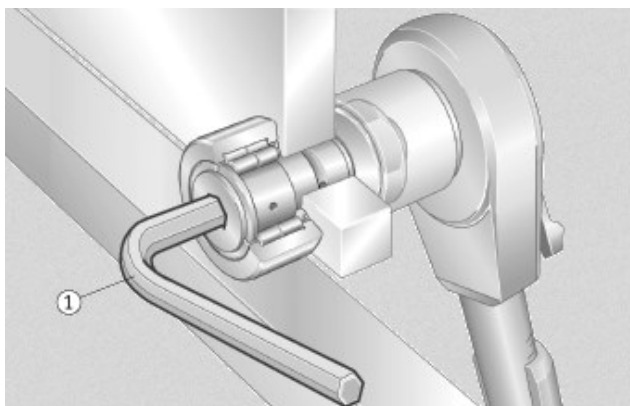
Zhodnocení:

Na základě konstrukčního návrhu první varianty a několika požadavků na úpravu vzešla druhá varianta konstrukce. Požadavky, na které byl nyní kladen důraz: jednodušší konstrukce Sloupu, jiné uchycení válce, nožového nosníku a vedení nože, použití jiných valivých kladek.

Konstrukce Sloupu nyní obsahuje i sestavu Upnutí válce a celá tato sestava je svařená. Oproti původní jsou profily $250 \times 100 \times 8$ nahrazeny dvěma profily $300 \times 300 \times 8$ a je docíleno rychlejší a jednodušší výroby každého Sloupu. Na sestavě Upnutí válce přibýly zpevňující příčné desky, pro lepší tuhost a lepší rozložení sil a ubyly odlehčovací otvory, které sice uberou nějakou hmotnost, ale výrobu prodraží. Hydraulický válec se bude znovu upínat za svoji spodní část a bude vyvíjet tlačnou sílu. Celkově je sestava Sloupu jednodušší na výrobu, má větší výrobní přesnosti a v porovnání s předchozí verzí je i o něco lehčí.

Místo použití pojezdových systémů firmy Winkel jsou zvoleny pojezdové kladky firmy Schaeffler, konkrétně typ KRE + připevněny vodící desky (klasický obdélníkový profil) na Sloupu. Velikost kladek je dle výpočtu KRE47-PP, snese radiální (dynamickou) sílu $15,4\text{ kN}$ a životnost ložiska je $14\,160$ hodin, což splňuje podmínku pro dvouletý provoz.

Sestava Vedení nože má velmi jednoduchou konstrukci. Díky excentrickému nastavení kladek nebylo třeba řešit vymezování polohy kladek vůči Sloupu. Kladky se ustaví velice jednoduše (Obrázek 27). Na kladce se jen povolí matice, dvěma klíči se kladka pootočí a matice se dotáhne zpět.



Obrázek 27 Ustavení kladek

Konstrukce Vedení nože je složena z profilů UE 80 a upínacích desek na nožový nosník. Pro spojení dvou podsestav Vedení slouží dva obdélníkové profily 60 x 40 mm a celá konstrukce působí masivním dojmem.

Ke spojení dvou sestav Sloupů poslouží jednoduchá, ale dosti tuhá Příčka. Je to rovněž svařovaná konstrukce z profilů 80 x 80 a 50 x 50. Příčka nebude sloužit jen pro zlepšení tuhosti celkové konstrukce sekačky, ale i k zabránění poškození nože nebo vzniku úrazu.

Vzhledem k tomu, že se podařilo vyřešit všechny předchozí nedokonalosti a tipy na zlepšení, je druhá varianta modelu sekačky připravena k dalšímu kroku, a tím je MKP analýza vybraných součástí. Z výsledků analýz, dle předběžného usuzování, by mohlo vyjít, že samotná konstrukce je dobrá, jen by se změnily některé parametry.

3.3 Pevnostní analýza vybraných součástí

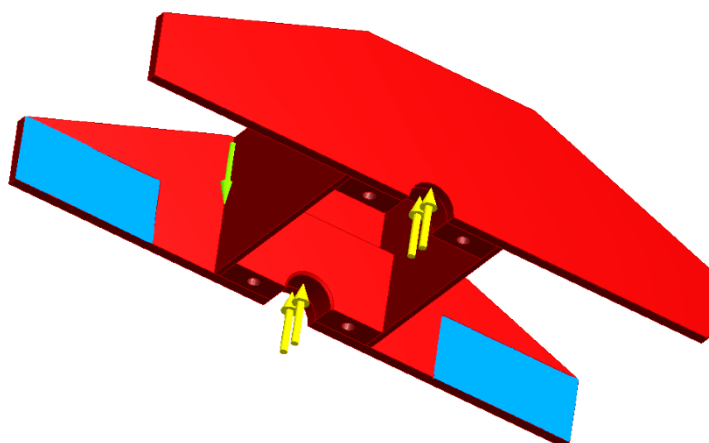
Dalším krokem v konstrukčním návrhu nového stroje jsou pevnostní výpočty. Konkrétně to jsou výpočty MKP, které se realizují na počítačích pomocí softwaru nebo ručně. Ruční výpočet je u složitějších součástí a modelů časově velmi náročný a v dnešní době je lepší provést výpočet pomocí počítače. Software na výpočet MKP může být například ve formě jakéhosi doplňku ve 3D modelovacím programu. Výsledky jsou dostatečně přesné a lze je považovat za dostačující přesnou simulaci. Dalším typem je program zaměřený čistě na simulaci MKP. Výsledky z takového programu jsou nejpřesnější a mají nejvíce vypovídající hodnotu. K dalším simulacím, které se mohou vypočítat pomocí speciálních programů, jsou: přestupy tepla, dynamické analýzy, kontrola od zatížení větrem, obtékání větru, vibrace, výpočet kritických kmitů a kritické frekvence, a mnohé další.

Pro kontrolu mnou navrhnutých součástí bude využito MKP výpočtu v programu Autodesk Inventor 2012. Vzhledem k tomu, že budu kontrolovat jednodušší součásti a sestavy, tak výsledky budou mít dostatečnou přesnost a výpočty nebudou moc náročné zpracování. Další výhodou výpočtu v programu Inventor je to, že součásti rámu mají už mezi sebou nastaveny vazby a stačí se přepnout do výpočtového modulu a nemusím modely převádět do jiného typu CAD souborů a složitě nastavovat vazby v jiném programu na výpočet MKP.

3.3.1 Kontrola uchycení válce

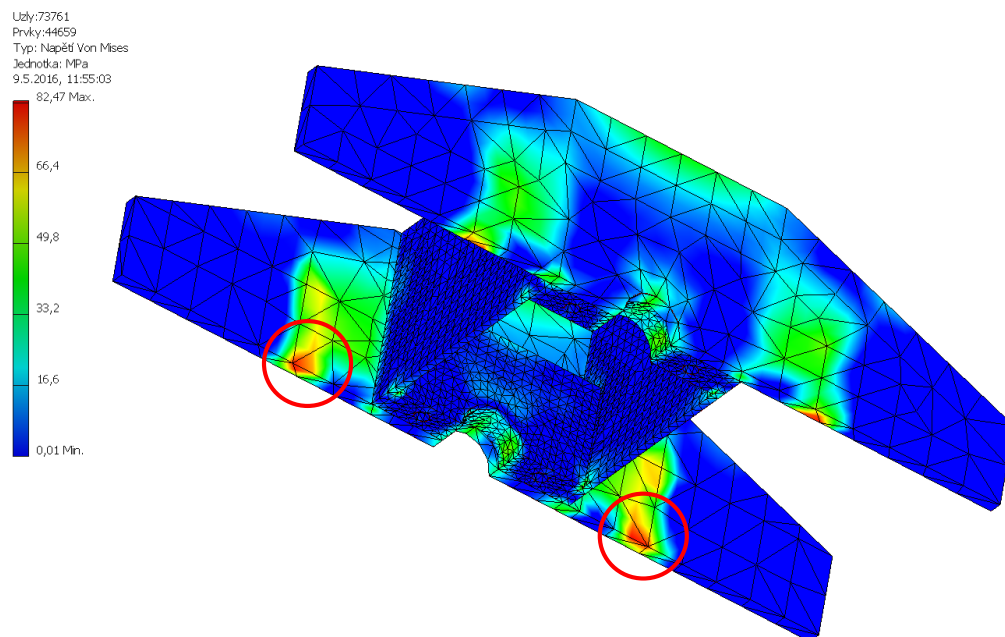
První součástí, která je kontrolována, je sestava Uchycení válce. Jedná se o svařenec plechů a kostek s vyfrézovanými otvory na čepy hydraulického válce. Její celkový tvar je spíše jednodušší, s poměrně robustními deskami o tloušťce 20 mm, takže síťování, nutné pro realizaci výpočtu nezabere moc času a samotná simulace také nebude náročná na výkon počítače.

Na sestavu Uchycení válce jsem nastavil čtyři pevné vazby (modrá), simulující pevné přivaření k profilu 300 x 300. Dále zatížení typu ložisko (žlutá šipka) na otvory pro čepy hydraulického válce o síle $F_{S\ 1/2} = 200\text{ kN}$, odpovídající střižné síle hydraulického válce $F_{S\ 1} = 400\text{ kN}$, rozložené na dva čepy a zatížení vlastní hmotností (zelená šipka) $g = 9810,000\text{ mm/s}^2$. Hodnotu konvergence jsem už všem MKP analýz nastavil na 10 %.

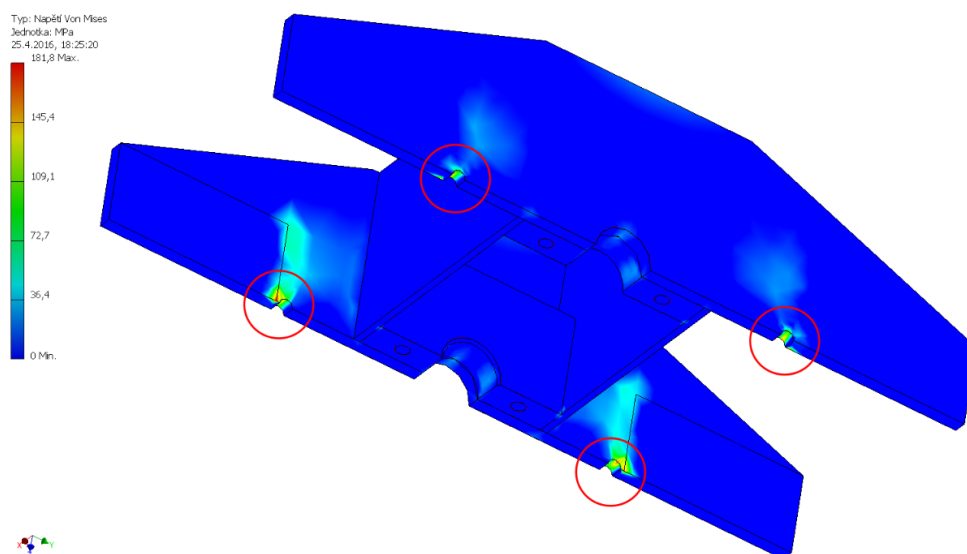


Obrázek 28 Nastavení výpočtu Uchycení válce

Výsledek analýzy maximálního napětí (Obrázek 29) vyšel 83 MPa v místě, kde bude Uchycení válce přivařeno ke konstrukci. Na obrázku je maximální napětí na hranici prvků (= singularita) a reálné napětí bude o něco menší. Hodnota meze únavy v ohybu $\sigma_{o\ C}$ oceli 11 373 je 130 – 155 MPa, což hodnota 83 MPa je pod hranicí meze únavy. Jinak je svařenec zatěžován napětím okolo 50 MPa, což je zcela bezpečné. Jako pokus o větší rozložení a snížení napětí byly na čelní desce, v místech největšího napětí, vyfrézovány půlkruhové otvory, o $R = 10\text{ mm}$. Jde však pouze o pokus a rozhodně to není součástí zadání diplomové práce. Jak je patrné z (Obrázek 30), efekt byl zcela opačný. Maximální napětí vzrostlo na hodnotu 182 MPa a mohlo by dojít k prasknutí svařence. Proto bylo od půlkruhových otvorů upuštěno.



Obrázek 29 Výsledky napětí



Obrázek 30 Výsledky napětí po konstrukční úpravě

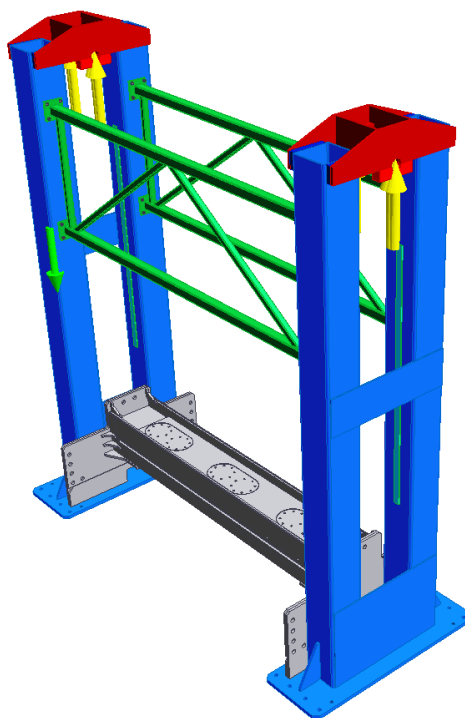
Výsledky celkového posunutí vyšly maximální v místě, kde bude upevněn hydraulický válec. Hodnota posunutí činí 0,11 mm. Za zmínku stojí uvést ještě posunutí v ose X. Je to hodnota, o kterou se k sobě přiblíží čelní desky, pod zatížením hydraulického válce. Hodnota posunutí činí 0,03 mm.

Hodnoty napětí a posunutí nemají žádný vliv na pevnost a tuhost konstrukce a lze konstatovat, že sestava Uchycení válce vyhovuje.

3.3.2 Kontrola rámu sekačky

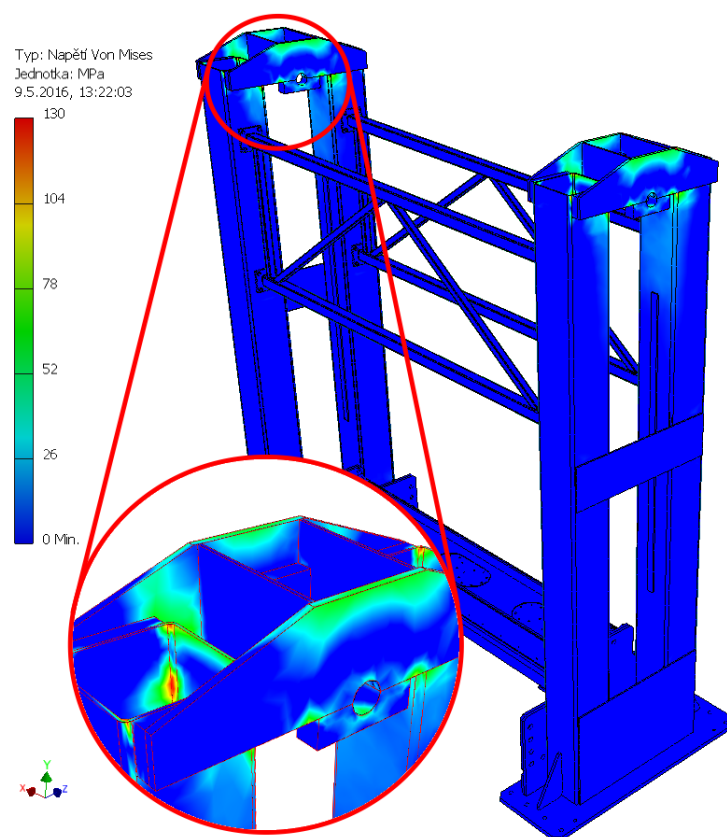
Další součástí, která se bude kontrolovat, je zatížení na rámu celé konstrukce. Je to sestava složená ze svařenců Sloupů (modrá), které jsou chyceny na zemi. K nim je přišroubovaná Spodní příčka (šedá) a Příčky (zelená), zabezpečující nemožnost Sloupů se jakkoliv ohýbat.

Na rám je aplikovaná pevná vazba na spodní stranu ocelových patek, pro co nejměrohodnější simulaci. Rovněž je zde nastaveno zatížení od řezné síly hydraulických válců (žluté šipky), celkem 800 kN, tedy 400 kN na každý válec. Rovněž je i zde zatížení vlastní hmotností (zelená šipka) $g = 9810,000 \text{ mm/s}^2$.

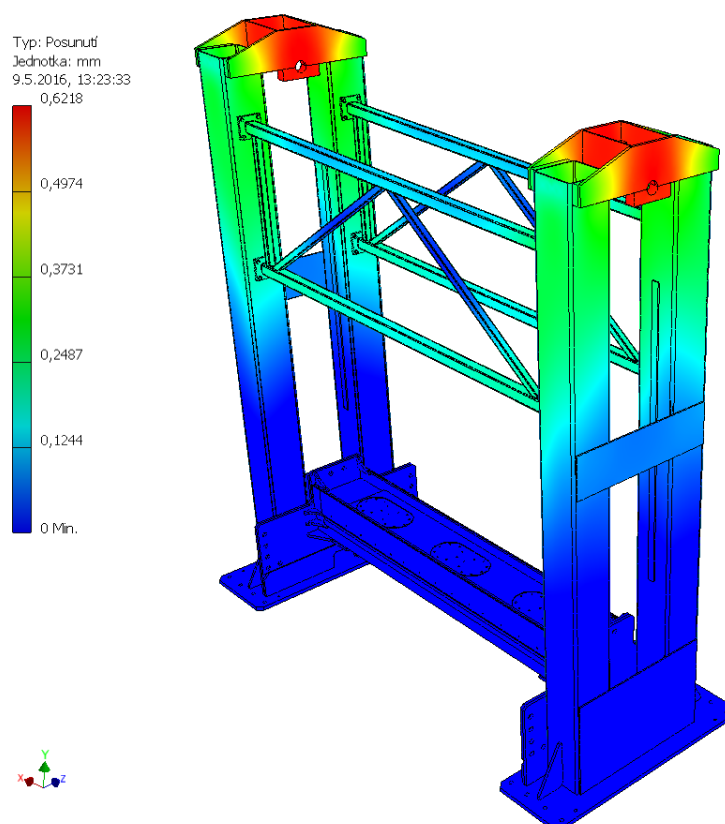


Obrázek 31 Nastavení výpočtu Rámu

Výsledky analýzy jsou přiloženy níže. Vzhledem k tomu, že celý rám je dostatečně tuhý, tak i výsledky napětí vyšly malé (Obrázek 32). Objevily se zde špičky s hodnotou 207 MPa, které jsou však na hranicích elementů, tudíž jsou to bezpochyby singularity a lze je eliminovat. Díky tomu, že celá konstrukce je namáhána na tah, od tahové síly hydraulických válců, tak i napětí na celkovou konstrukci mělo maximální hodnotu 40 MPa. Maximální hodnota posunutí (Obrázek 33) od tahové síly hydraulických válců vyšla 0,63 mm. Je to z důvodu, že celý rám je namáhaný na tah.



Obrázek 32 Výsledky napětí

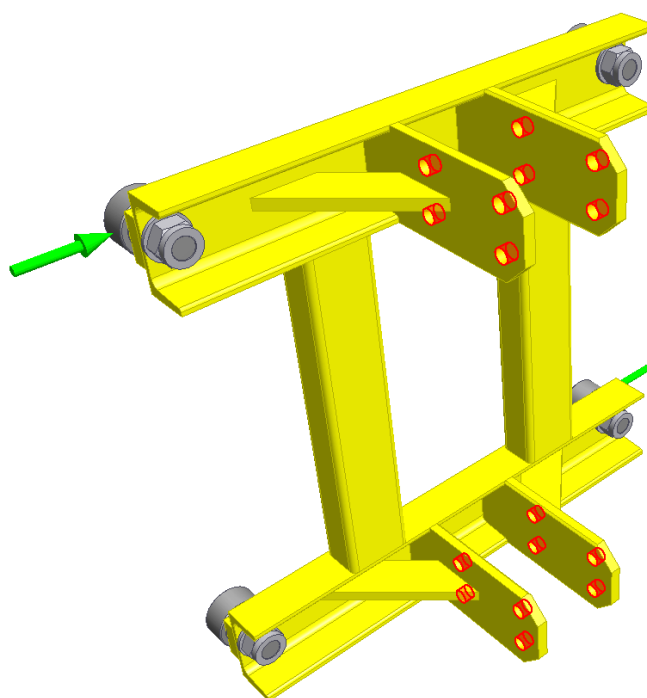


Obrázek 33 Celkové posunutí Rámu

3.3.3 Kontrola Vedení nože

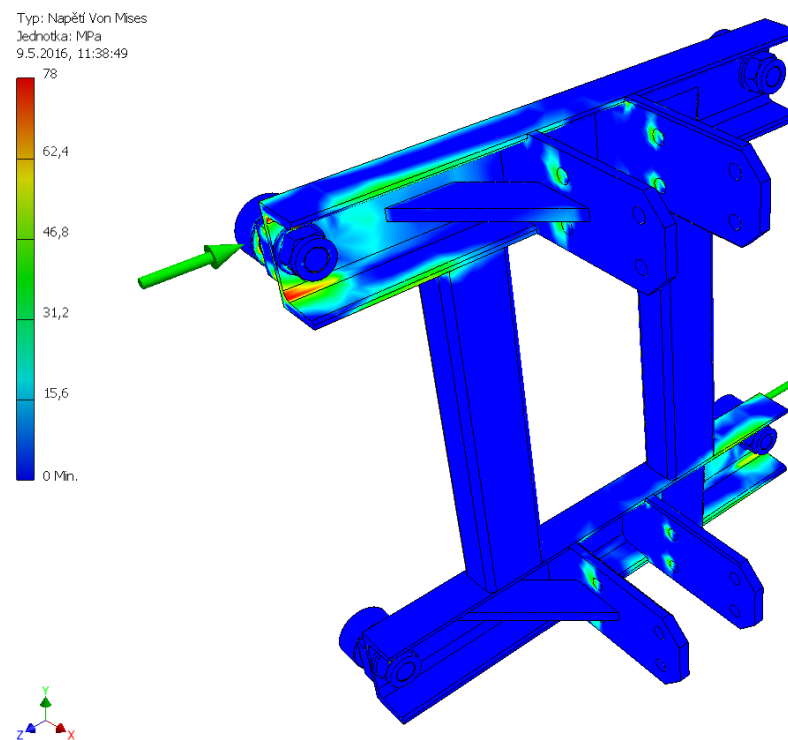
Poslední kontrolovanou součástí je sestava Vedení nože. Jelikož je to zcela nová konstrukce a souvisí z nově zvoleným valivým vedením, tak je nutné ověřit, zda je dostatečně tuhá nebo bude nutné udělat konstrukční změny. Již z počátku konstruování bylo myšleno na to, aby svařovaná konstrukce vydržela případné boční síly (radiální zatížení ložisek).

Pro co nejreálnější simulaci je v dírách pro šrouby nastavena pevná vazba (červená plocha). Tímto bude konstrukce namáhána jako v provozu. Dále je na kladky umístěno zatížení typ Síla, s hodnotou 7 000 N na každou kladku (zelené šipky), odpovídající teoretickému vychýlení nože o hodnotu $\alpha = 2^\circ$, viz.: návrh pojezdových kladek, str. 28. Je uvažováno, že při vychýlení budou kladky namáhány stejnou silou, ale bude zatížena vždy jedna kladka nahoře a křížem dole druhá kladka.



Obrázek 34 Nastavení výpočtu Vedení nože

Výsledky MKP analýzy (Obrázek 35) vyšly překvapivě dobře hned na první pokus a nemusí být provedena konstrukční změna. Nejvyšší napětí, které působí na sestavu, je napětí 75,4 MPa, které je uvnitř U profilu, na přechodovém zaoblení. Sestava Vedení nože vyhovuje.



Obrázek 35 Výsledky napětí

4 Vyhodnocení

Vzhledem k tomu, že firma PAPCEL, a. s. vyrábí kusové stroje na zakázku, je nutné navrhovanou konstrukční úpravu vždy modifikovat dle požadavku zákazníka.

Dle zadání diplomové práce: provést konstrukční návrh rámu stroje a provést pevnostní, případně životnostní výpočty a ze zadaných podmínek na zlepšení zadavatelem: snížit hmotnost, umístit hydraulické válce do os nohou a použití jiného druhu vedení, vzešla nová podoba stroje. Nejprve byla navržena prvotní varianta modelu a z jeho výhod a nevýhod vzešla druhá varianta modelu, který se následně ještě v detailech upravit, ale jeho podstatné části už zůstaly zachovány. Oproti nynějšímu řešení sekačky bylo použito dvou nohou na sloupky, oproti jednomu profilu H. Hydraulické válce se podařilo umístit přesně do osy nohou. Místo kluzného vedení je použito valivého vedení v podobě pojezdových kladek, s odpovídající únosností a životností, od firmy Schaeffler, viz zhodnocení na str. 39, 40. Následně byla na vybrané součásti aplikovaná MKP analýza. Kontrolováno bylo Uchycení hydraulických válců, Vedení nože a celkový rám. Dále byl kontrolován nožový nosník na ohyb. Všechny výpočty vyšly kladně a všechny navržené sestavy vyhovují bezpečnosti a pevnosti. Výsledky, viz strana 42 – 47.

Celkové zhodnocení parametrů stroje je uvedeno v tabulce (Tabulka 5) a veškeré výpočty, návrhy, popis a výhody a nevýhody jsou uvedeny v obsahu diplomové práce.

Tabulka 5 Porovnání variant sekaček

parametr	jednotka	nynější verze	nová verze
hmotnost rámu	[kg]	6 937	4 578,5
hmotnost nožového nosníku	[kg]	1 775	2 038,5
hydraulické válce	[-]	mimo osu sloupů	v ose sloupů
druh vedení	[-]	kluzné	valivé
jednoduchost konstrukce	[-]	ne	ano
montáž	[-]	složitější	jednoduchá
počet šroubů na rámu	[ks]	100	68

5 Závěrem

V diplomové práci jsem se zabýval konstrukční úpravou stávající verze sekačky odpadových rolí. Hlavním úkolem bylo navrhnout jiný typ vedení, z důvodu zadrhávání kluzného vedení a umístění hydraulických válců do os sloupů.

V průběhu práce jsem zpracoval několik variant řešení modelu, které jsem dále upravoval a vzešla konečná podoba 3D modelu. Ke každé ze sestav 3D modelu sekačky jsem vypsál výhody a nevýhody. Následně jsem na vybrané díly aplikoval výpočtové modely MKP, ohybová kontrola nožového nosníku a pevnostní a životnostní návrh pojezdových kladek. Pevnostní kontrolou jsem zjistil takové hodnoty napětí, že celá konstrukce rámu vyhovuje a splňuje podmínky bezpečnosti.

Během vypracování diplomové práce jsem vycházel ze znalostí získaných studiem na vysoké škole a také z rad a praktických zkušeností získaných ze zadavatelské firmy.

Poděkování:

Chci poděkovat firmě PAPCEL, a. s. Litovel, že mi umožnila vypracovat diplomovou práci v její firmě, za cenné rady, které mi předala a za podklady a materiály k vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Zdeňku Foltovi, Ph.D. za poskytnutí rad a pomoci při vypracování diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1]. **ŠVÁČEK, Karel.** *Deskripce vedení u obráběcích strojů* [online]. Brno, 2009 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=1767
7. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Michal Holub.
- [2] **PAVELEC, Jiří.** *Vývoj lineárního posuvu pro UHV STM/AFM* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4307
0. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Prof. RNDr. Tomáš Šíkola CSc.
- [3] **Gertrud Diebels Recyclingmachines: Role cutting machines** [online]. Düsseldorf: Base Plus, 2007 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z:
<http://www.recyclingmaschinenhandel.de/en/Produkte/Restrollenschneidgeraet/rollenschneidemaschinen.htm>. Dostupné z:
<http://www.recyclingmaschinenhandel.de/en/Produkte/Restrollenschneidgeraet/rollenschneidemaschinen.htm>.
- [4] **Fimic: ECO 30 E 50** [online]. Carmignano di Brenta: Fimic Srl, 2015 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: <http://www.fimic.it/en/plastic-and-paper-guillottes>
- [5] **Riko Ekos: Reel Splitter** [online]. Ljubljana: Riko Ekos, 2010 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.riko-ekos.si/en/stroji_za_razrez.php
- [6] **Bronnenberg: Reef splitter** [online]. Bronnenberg: Keistoer Interactieve Media, 2015 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z: <http://www.bronneberg-recycling.co.uk/en/products/reel-splitter/reel-splitters-bronneberg/>
- [7] **Recycling Equipment Inc: Guillotine Roll Shears** [online]. Newton: Red Creative Marketing, 2015 [cit. 2015-10-28]. Dostupné z:
<http://www.gogreenrei.com/rei-product/guillotine-roll-shears/>
- [8] **JURÁČEK, Petr.** *Návrh systému zaváděcího modulu pro manipulaci papírového polotovaru*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VŠB - Technická Univerzita Ostrava. Vedoucí práce prof. Ing. Jiří Hrubý CSc.
- [9] **PAPCEL: O společnosti** [online]. Litovel: PS Works s. r. o., 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.papcel.cz/o-spolecnosti/>

- [10] **PAPCEL: Sekačka odpadových rolí WRS.** *PAPCEL* [online]. Litovel: PS Works s. r. o., 2015 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.papcel.cz/produkty-pripravna-latky-stroje/produkty-pripravna-latky-stroje/produkty-pripravna-latky-stroje/sekacka-odpadovych-rolí-wrs/>
- [11] **Schaeffler - product catalogue** [online]. Herzogenaurach: Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, 2014 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/catalogue_1/downloads_6/prs.pdf
- [12] **Schaeffler: medias®.** *Schaeffler* [online]. Praha: Schaeffler CZ s.r.o., 2016 [cit. 2016-03-25]. Dostupné z: <http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ds/?pattern=kre>
- [13] **E-konstruktor: Praktické informace** [online]. Praha: Infinity Vision Creative Agency, 2013 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezí-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolených-nápravy-pro-ocel>
- [14] **LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA.** *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření.* 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [15] **Winkel: Winkel-Ložiska** [online]. Illingen: Bayer AG, 2013 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.winkel.de/cz/index/>

Seznam obrázků, grafů

Obrázek 1 Schéma rozměrů sekačky WRS [10]	12
Obrázek 2 Stávajícího řešení sekačky WRS	14
Obrázek 3 Detail kluzného vedení	15
Obrázek 4 Sekačka firmy RMH [3]	17
Obrázek 5 Sekačky firmy Fimic [4]	18
Obrázek 6 Sekačka firmy RikoEkos 1 [5]	18
Obrázek 7 Sekačka firmy RikoEkos 2 [5]	19
Obrázek 8 Sekačka firmy Bronnenberg [6]	19
Obrázek 9 Sekačka firmy REI [7]	19
Obrázek 10 Možné varianty vedení	23
Obrázek 11 Předběžná verze vedení	24
Obrázek 12 První varianta konstrukce	25
Obrázek 13 Sloup	26
Obrázek 14 Sestava upnutí hydraulického válce	26
Obrázek 15 Táhlo	27
Obrázek 16 Schéma rozdělení sil	28
Obrázek 17 Kladka PR 4.054	29
Obrázek 18 Modifikovaný hydraulický píst	29
Obrázek 19 Druhá varianta konstrukce	31
Obrázek 20 Detail Upnutí válce	32
Obrázek 21 Sestava Sloupu	33
Obrázek 22 Pojezdová kladka KRE47-PP	34
Obrázek 23 Vedení nože	35
Obrázek 24 Příčka	36
Obrázek 25 Porovnání starého a nového nožového nosníku	36
Obrázek 26 Schéma zatížení	37
Obrázek 27 Ustavení kladek	40
Obrázek 28 Nastavení výpočtu Uchycení válce	42
Obrázek 29 Výsledky napětí	43
Obrázek 30 Výsledky napětí po konstrukční úpravě	43
Obrázek 31 Nastavení výpočtu Rámu	44
Obrázek 32 Výsledky napětí	45
	53

Obrázek 33 Celkové posunutí Rámu	45
Obrázek 34 Nastavení výpočtu Vedení nože	46
Obrázek 35 Výsledky napětí	47

Přílohy

Příloha 1 – parametry kladky KRE35-PP [12]

Příloha 2 – výpočet kladky KRE35-PP [12]

Příloha 3 – parametry kladky KRE47-PP [12]

Příloha 4 – výpočet kladky KRE47-PP [12]

Příloha 5 – sestavný výkres sekačky WRS

Příloha 6 – výkres sestavy Vedení nože

Poznámka pro Přílohu 1 – 4:

Zelené orámování – dané hodnoty velikostí kladky

Modré orámování – volené hodnoty

Oranžové orámování – vypočítané hodnoty